

Received:
September 29, 2025

Accepted:
October 19, 2025

Published:
October 31, 2025

Zoning of forest fire risk in the city of Teófilo Otoni, Mucuri Valley, Minas Gerais, Brazil

Guilherme Ribeiro Amorim¹ , Heder Alves dos Reis¹ , Lucas Pereira Cerqueira¹ 
Leonidas Soares Murta Júnior² , Erica Karolina Barros de Oliveira¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brazil.

² Instituto Estadual de Florestas, Teófilo Otoni, Brazil.

Email address

ribeiro.guilherme@ufvjm.edu.br (Guilherme R. Amorim)

heder.reis@ufvjm.edu.br (Heder A. Reis)

lucas.cerqueira@ufvjm.edu.br (Lucas P. Cerqueira)

murtajuniorls@gmail.com (Leonidas S.M. Júnior)

erica.barros@ufvjm.edu.br (Erica K.B. Oliveira) – Corresponding author

Abstract

Forest fires, intensified by anthropogenic pressure and climate change, pose a significant threat to ecosystems and socioeconomic activities. This study aimed to perform wildfire risk zoning in Teófilo Otoni, Minas Gerais, in order to identify vulnerable areas and support conservation and sustainable management policies. Maps were developed using QGIS software, considering slope aspect, gradient, distance from urban clusters, proximity to road networks, and land use and land cover, based on data from the Digital Elevation Model (MDE), the Spatial Data Infrastructure of the State Environmental System (IDE-SISEMA) and the MapBiomass Project, Collection 10 (2024). The results showed that 65.60% of the municipal territory presents Moderate to Very High risk, particularly in agricultural areas, north-facing slopes, and regions near highways. The consistency of the zoning was confirmed by the 227 fire hotspots recorded between 2020 and 2025, highlighting its relevance for local environmental planning.

Keywords: Geoprocessing, Atlantic Forest, Climate change, Public policies.

1. Introdução

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios da atualidade, afetando ecossistemas e comunidades em escala global. O aumento da temperatura média do planeta, associado a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor e tempestades intensas, tem aumentado a vulnerabilidade de diversas regiões ao redor do mundo (Alencar et al., 2020; Franco et al., 2025). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2024), tem alertado sobre a urgência de medidas mitigadoras e adaptativas para enfrentar essas mudanças e minimizar seus impactos. Este cenário global tem implicações diretas em ecossistemas sensíveis e na biodiversidade, destacando a necessidade de um planejamento estratégico eficaz, especialmente em regiões como o bioma Mata Atlântica no Brasil (IPCC, 2024).

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta, abrigando milhares de espécies da flora e fauna, muitas das quais são endêmicas e ameaçadas de extinção. Entretanto, este bioma tem sofrido com o desmatamento e a fragmentação florestal, restando atualmente cerca de 12% de sua cobertura original (Ministério de Meio Ambiente e Mudança do Clima - MMA 2022). As atividades antrópicas, aliadas às mudanças climáticas, têm aumentado a frequência e a intensidade dos incêndios florestais na região. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), o número de focos de incêndio na Mata Atlântica em 2024, aumentou alarmantes 440% em comparação a 2023.

Os incêndios florestais representam uma ameaça significativa não apenas ao meio ambiente, mas também à saúde pública, à economia local e à segurança das comunidades (INPE, 2024). As queimadas liberam grandes quantidades de dióxido

de carbono e outros poluentes na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e afetando a qualidade do ar. Além disso, a destruição de áreas florestais pode levar à perda de biodiversidade, à degradação do solo e à diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, impactando diretamente as atividades agrícolas e o abastecimento de água na região (Murta Júnior e Oliveira, 2024).

O zoneamento do risco de incêndios florestais é uma ferramenta crucial para a gestão e a prevenção desses eventos catastróficos. Este processo envolve a identificação e a análise das áreas mais vulneráveis a incêndios, considerando fatores como a cobertura vegetal, o uso do solo, as condições climáticas e as atividades humanas. Estudos nacionais e internacionais têm demonstrado a eficácia do zoneamento na redução dos riscos de incêndios e na promoção de práticas de manejo sustentável. No Brasil, o MMA e organizações não governamentais, como a SOS Mata Atlântica, têm desenvolvido iniciativas e projetos voltados para a conservação e a recuperação do bioma, promovendo também a conscientização da população sobre a importância da conservação ambiental (MMA, 2022).

Para a execução do zoneamento de risco de incêndios florestais, dispõe-se atualmente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Em um ambiente SIG é possível armazenar, inserir, administrar, analisar e apresentar dados espaciais na forma de mapas, relatórios, gráficos e diagramas. É possível fazer sobreposição de informações e análises espaciais, que se tornam subsídio para a tomada de decisões. Todas estas potencialidades são indispensáveis aos estudos relacionados aos incêndios florestais tendo em vista seu caráter espacial e a diversidade de fatores ambientais relacionados. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo realizar o zoneamento do risco de incêndios para o município de Teófilo Otoni, estado de Minas Gerais, e dessa maneira auxiliar no monitoramento e prevenção desses eventos.

2. Revisão de literatura

2.1 Histórico dos Incêndios Florestais no Brasil

Os incêndios florestais caracterizam-se pela propagação descontrolada do fogo em áreas de vegetação natural ou cultivada, constituindo um dos principais desafios socioambientais e econômicos

do país (Tetto, Batista e Soares 2012). Estima-se que cerca de 99% desses incêndios sejam de origem antrópica, resultantes de queimadas agrícolas, manejo inadequado de pastagens e práticas incendiárias intencionais (Ribeiro, 2008).

A vulnerabilidade da vegetação aumenta durante a estação seca, quando a baixa umidade e o acúmulo de material combustível favorecem a ignição e propagação do fogo, ocasionando perdas recorrentes, inclusive em áreas protegidas (Ramalho et al., 2024). Embora existam ações de supressão, suas limitações técnicas e econômicas tornam o monitoramento e a antecipação aos incêndios essenciais para a redução de danos (Tomas et al., 2024).

A distribuição e frequência dos incêndios variam entre os biomas. Regiões com vegetação seca ou fragmentada, como Cerrado e Pantanal, apresentam maior número de eventos, enquanto a Amazônia registra ocorrências menos frequentes, porém de grande magnitude. A Mata Atlântica também é altamente vulnerável devido à fragmentação e à pressão antrópica (MAPBiomas, 2025).

Entre 2019 e 2025, os dados de áreas queimadas no Brasil apresentaram variações significativas (Tabela 1), fornecendo um contexto nacional que permite compreender melhor o risco e a vulnerabilidade específicos do bioma Mata Atlântica.

Tabela 1 – Área queimada do território brasileiro para o período de 2019 a 2025.

Ano	Área Queimada (ha)
2019	18.088.488,17
2020	17.976.335,44
2021	14.066.333,73
2022	16.314.526,76
2023	17.235.490,27
2024	30.867.676,78
2025*	2.451.129,71

* Dados de janeiro a julho de 2025.

2.2 O Bioma Mata Atlântica

A Mata Atlântica ocupa aproximadamente 1.360.000 km², sendo o terceiro maior bioma brasileiro e a segunda maior floresta pluvial tropical das Américas, além de abrigar mais de 70% da população do país. Originalmente esse bioma cobria cerca de 15% do território nacional, e hoje restam 12,4% de sua vegetação original (MMA, 2022).

Reconhecido como um dos 35 hotspots globais de biodiversidade, o bioma possui cerca de 20.000 espécies vegetais, das quais aproximadamente 35% são endêmicas (Mazzurana, 2016). A fragmentação e degradação aumentam a vulnerabilidade a incêndios, tornando áreas contínuas mais resistentes e áreas isoladas mais propensas à propagação do fogo (Murta Júnior e Oliveira, 2024).

Entre 2019 e 2025, a área queimada na Mata Atlântica apresentou grande variação (Tabela 2), com destaque para o aumento acentuado em 2024, atingindo 1.012.678 ha, evidenciando a sensibilidade do bioma a fatores climáticos e antrópicos (MapBiomias, 2025).

Tabela 2 – Área queimada do Bioma Mata Atlântica para o período de 2019 a 2025.

Ano	Área Queimada (ha)
2019	248.974,30
2020	195.122,24
2021	264.352,49
2022	173.457,32
2023	186.199,25
2024	1.012.678,32
2025*	61.831,51

* Dados de janeiro a julho de 2025.

Parte significativa dos incêndios ocorre em áreas menores que 250 ha e está fortemente associada a atividades humanas, principalmente agricultura e pastagens. Os impactos ambientais incluem perda de biodiversidade, degradação do solo, alterações nos ciclos hidrológicos e aumento na emissão de gases de efeito estufa (Jesus, 2022).

Eventos climáticos extremos, como aumento da temperatura média e ocorrência de secas prolongadas, têm agravado a frequência e a intensidade dos incêndios, estabelecendo ciclos de retroalimentação (Tomas et al., 2024). Incêndios severos contribuem para alterações climáticas que elevam a vulnerabilidade de novas áreas ao fogo (IPCC, 2023). Nesse contexto, o zoneamento ambiental surge como ferramenta estratégica para identificar áreas vulneráveis e orientar a gestão territorial, subsidiando políticas de prevenção e mitigação de incêndios.

2.3 Zoneamento Ambiental

O zoneamento ambiental é um instrumento essencial de ordenamento territorial, utilizado para

orientar o uso sustentável do solo e organizar a ocupação do território. Ele estabelece critérios técnicos e legais que limitam ou permitem determinadas atividades conforme características físicas, sociais e econômicas locais (Silva, 2003).

Nos últimos anos, a aplicação do zoneamento tem se ampliado, refletindo a demanda por políticas públicas mais integradas. Souza (2009) destaca que, ao impor restrições sobre o direito de propriedade, o zoneamento atua como mecanismo de conciliação entre interesses coletivos e privados. No setor agrícola, ele subsidia a elaboração de mapas que relacionam aptidão do solo e variáveis climáticas a culturas específicas. Em áreas urbanas, orienta a organização espacial, delimitando usos residenciais, comerciais, industriais ou de preservação ambiental (Silva e Rodrigues, 2020).

Diversas metodologias são empregadas na elaboração de zoneamentos, dependendo dos objetivos do estudo. Podem incluir mapas temáticos com recortes físicos e socioeconômicos, diagnósticos de fragilidade ambiental, análises de áreas sujeitas a restrições legais ou propostas de criação de unidades de conservação e recuperação de áreas degradadas (MMA, 2018). Tais produtos fornecem subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e gestão integrada de bacias hidrográficas e áreas urbanas.

2.4 Ferramentas e Tecnologias de Geoprocessamento

O geoprocessamento consolidou-se como ferramenta estratégica para análise territorial, combinando técnicas matemáticas e computacionais voltadas à coleta, armazenamento e processamento de informações geográficas (Murta Júnior e Oliveira, 2024). Ele se apoia em tecnologias como sensoriamento remoto, cartografia digital, sistemas de posicionamento global (GPS) e, principalmente, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Barros e Marques, 2024).

Os SIG permitem a integração de dados espaciais e alfanuméricos, ampliando a capacidade de análise em diferentes escalas (Murta Júnior e Oliveira, 2024). Softwares como QGIS e ArcGIS têm ampla aplicação em ambientes acadêmicos e órgãos de gestão ambiental, devido à robustez analítica e à flexibilidade no tratamento de dados (ESRI, 2024; QGIS Development Team, 2024).

Na prevenção de incêndios florestais, o geoprocessamento é fundamental. Ferramentas de análise espacial permitem identificar áreas críticas, elaborar mapas de risco, monitorar alterações na cobertura vegetal e simular cenários de propagação do fogo (Lima et al., 2021; Souza et al., 2021). Essa integração de informações ambientais e socioeconômicas constitui a base para a avaliação de riscos e a priorização de ações de mitigação, conduzindo diretamente à compreensão dos principais fatores de risco para incêndios florestais.

2.5 Fatores de Risco para Incêndios Florestais

Os incêndios florestais são ameaças significativas aos ecossistemas, afetando dentre outros aspectos a biodiversidade, solo, clima e saúde humana (Souza et al., 2021). Sua ocorrência depende de fatores naturais e antrópicos. Entre os naturais destacam-se descargas atmosféricas, topografia, ventos e baixa umidade relativa do ar (Tomas et al., 2024). Contudo, a maior parte dos focos de calor resulta de atividades humanas, como queimadas agrícolas, manejo inadequado de resíduos e expansão de áreas urbanas ou rurais (Costa et al., 2023; Silva; Rodrigues, 2020).

A análise de risco combina variáveis físicas e socioeconômicas, permitindo identificar áreas com maior probabilidade de ocorrência de incêndios. Fatores como a declividade, orientação de encostas, altimetria e tipo de cobertura vegetal influenciam significativamente a propagação do fogo (MMA, 2018). Elementos antrópicos, como estradas e proximidade de núcleos urbanos, também contribuem para aumentar ou reduzir o risco, funcionando como vias de acesso para combate ou potenciais focos de ignição (Murta Júnior e Oliveira, 2024).

O mapeamento de risco aplica escores ponderados que refletem a suscetibilidade do território ao fogo, subsidiando estratégias de prevenção e gestão ambiental e minimizando impactos socioambientais (Murta Júnior e Oliveira, 2024). Esses índices devem considerar também fatores climáticos, que influenciam a inflamabilidade da vegetação e a propagação do fogo.

2.6 Mudanças Climáticas e Incêndios Florestais

Entre 2014 e 2023, a temperatura média global aumentou 1,19 °C em relação ao período pré-

industrial, tornando a década a mais quente já registrada (NOAA, 2024). Esse aquecimento, associado à intensificação de eventos climáticos extremos, favorece o ressecamento da vegetação, aumentando a suscetibilidade e a propagação do fogo (IPCC, 2023; Pereira et al., 2009).

O ciclo de retroalimentação entre mudanças climáticas e incêndios é preocupante: queimadas severas emitem gases de efeito estufa, agravando o aquecimento e aumentando a vulnerabilidade dos ecossistemas (Nagel et al., 2023). Biomas como a Mata Atlântica, com mais de 80% de cobertura original perdida, estão particularmente expostos, com ecossistemas fragmentados e risco crescente de colapso nos próximos 50 anos (MMA, 2018). Integrar dados climáticos, ambientais e socioeconômicos em análises de risco permite fundamentar políticas de prevenção e manejo sustentável, minimizando os impactos dos incêndios (Torres e Ribeiro, 2008).

A integração do geoprocessamento com iniciativas de prevenção e mitigação pode potencializar a prevenção, permitindo mapear áreas críticas, realizar zoneamento ambiental e priorizar ações corretivas. A combinação de dados ambientais, sociais e climáticos possibilita decisões mais precisas, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas e reduzindo a ocorrência de incêndios florestais (Almeida; Fonseca e Barbosa, 2022; Souza et al., 2021).

Diante desse contexto, a avaliação da vulnerabilidade a incêndios depende da integração de dados climáticos, ambientais e socioeconômicos, considerando como esses fatores influenciam a inflamabilidade da vegetação e a propagação do fogo.

3. Metodologia

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O presente estudo foi conduzido no município de Teófilo Otoni, que está localizado no Vale do Mucuri, entre as coordenadas 17°51'27''S e 41°30'19''W, no Estado de Minas Gerais (Figura 1). Sua área total é de 3.242,27 km² (IBGE, 2024) e sua população total é de 137.418 habitantes (IBGE, 2022). O relevo da região é majoritariamente montanhoso, abrangendo cerca de 60% do território (IDE-SISEMA, 2025). O clima é classificado como "Aw", tropical com estação seca (Alvares et al.,

2013). A temperatura média anual é de 24° C e a precipitação média anual é de 1.060mm/ano (Silva, 2011). A vegetação predominante no município é a

Floresta Estacional Semidecidual, uma das fitofisionomias do Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2022).

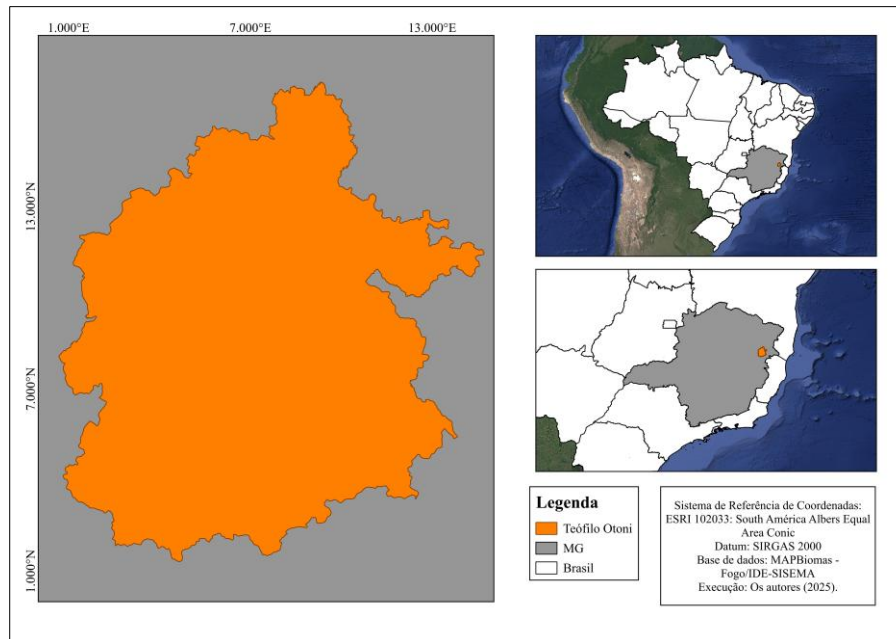


Figura 1 – Localização do município de Teófilo Otoni, em Minas Gerais – Brasil.

3.2 Base de dados

O mapa de risco de incêndio foi elaborado a partir das condições topográficas e do uso do solo, com base na metodologia proposta por Ribeiro et al. (2008), utilizando o software QGIS 3.34.11. Foram consideradas cinco variáveis: aspecto (orientação das encostas), declividade, distância dos agrupamentos urbanos, distância da rede viária e uso e ocupação do solo. Essas variáveis, frequentemente destacadas em estudos científicos, constituem preditores relevantes da ocorrência de incêndios florestais. Como a principal causa está relacionada à presença humana, a proximidade de áreas urbanas, estradas e o uso do solo são os fatores mais determinantes para o risco na região em estudo.

Em cada mapa foram definidos polígonos suscetíveis à ocorrência dos incêndios, onde cada situação recebeu um valor ou peso que variou de 1 a 5, sendo que 1 é o valor atribuído ao menor risco de incêndio (Muito Baixo) e 5 ao maior risco (Muito Alto). A definição dos pesos foi feita com base nas subdivisões disponíveis na literatura.

Para a elaboração dos mapas de risco, adotou-se como base cartográfica um arquivo vetorial com o limite da cidade de Teófilo Otoni, posteriormente, aplicou-se um buffer de 10 km além desse limite visando reduzir influências externas e captar

variações locais. Posteriormente, recortou-se o buffer a partir do mapa base (Murta Júnior e Oliveira, 2024).

Os mapas apresentados neste estudo foram gerados no Sistema de Coordenadas Projetadas Albers Equal Area Conic, que preserva a proporcionalidade das áreas entre as entidades representadas. A descrição detalhada de cada variável utilizada é apresentada no tópico 3.3.

3.3. Variáveis preditoras utilizadas no zoneamento do risco de incêndios

3.3.1 Aspecto ou Orientação de encostas

A variável aspecto ou orientação de encostas está diretamente relacionada com a posição das vertentes, principalmente as que estão voltadas para o norte, ou seja, devido às condições de iluminação solar, a orientação influencia na umidade e tipo de material combustível, onde às faces mais ensolaradas perdem umidade mais rapidamente facilitando o início e a propagação do fogo (Ribeiro et al., 2008).

Para a obtenção do mapa de aspecto, aplicou-se a ferramenta Aspect, disponível no módulo GDAL do software QGIS 3.34.11, utilizando como dado de entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE). O processamento resultou em uma representação espacial da orientação das encostas.

Posteriormente, a imagem de aspecto foi reclassificada por meio do algoritmo reclassificar por tabela, sendo os pixels agrupados em diferentes classes (Torres et al., 2017; Ribeiro et al., 2008). Para a definição dos pesos ou escores, utilizou-se a rosa dos ventos, considerando-se o Norte na posição de 0°. Os valores foram estabelecidos de acordo com a faixa de orientação correspondente a cada intervalo angular, abrangendo os 360° da rosa dos ventos. Os pesos atribuídos à variável aspecto encontram-se descritos na Tabela (3).

Tabela 3 – Classes de risco atribuídas segundo as amplitudes de Aspecto, identificadas na área deste estudo.

Classes (graus)	Risco	Peso
0° - 45°	Muito alto	5
45° - 90°	Alto	4
90° - 135°	Moderado	3
135° - 157,5°	Baixo	2
157,5° - 202,5°	Muito Baixo	1
202,5° - 225°	Baixo	2
225° - 270°	Moderado	3
270° - 315°	Alto	4
315° - 360°	Muito Alto	5

3.3.2 Declividade (graus)

A declividade do terreno influencia diretamente na propagação do fogo e na velocidade na qual as chamas se alastram, já que o fogo morro acima se espalha mais facilmente e é muito difícil de ser combatido (Ribeiro et al., 2008). Para a obtenção do mapa de declividade (graus), aplicou-se a ferramenta Declividade, disponível no módulo GDAL do software QGIS 3.34.11, utilizando como dado de entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE). Posteriormente a imagem declividade (graus), teve seus pixels agrupados em diferentes classes (Tabela 4) utilizando o algoritmo reclassificar por tabela (Torres et al., 2017; Ribeiro et al., 2008).

Tabela 4 – Classes de riscos atribuídas segundo as amplitudes de declividade (graus) encontradas para a área desse estudo.

Classes (graus)	Risco	Peso
< 5°	Muito Baixo	1
5° - 10°	Baixo	2
10° - 20°	Moderado	3
20 - 30°	Alto	4
> 30°	Muito Alto	5

3.3.3 Agrupamentos urbanos

Os agrupamentos urbanos são definidos como conjuntos de edificações e populações organizadas

em um espaço geográfico delimitado. O arquivo vetorial correspondente aos agrupamentos urbanos situados na área de abrangência do município de Teófilo Otoni foi obtido na base de dados do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA). Inicialmente, os dados vetoriais foram convertidos para o formato raster por meio do algoritmo v.to.raster, disponível no software QGIS 3.34.11, com suporte da biblioteca GRASS GIS para o processamento. Em seguida, aplicou-se o comando r.grow.distance para a geração da distância euclidiana. Por fim, a imagem resultante, teve seus pixels agrupados e reclassificados por tabela de acordo com as classes apresentadas na Tabela (5).

Tabela 5 – Classes de riscos atribuídas às amplitudes de distância euclidiana dos agrupamentos urbanos, encontradas para a área desse estudo.

Classes (m)	Risco	Peso
0 – 1000	Muito alto	5
1000 – 2000	Alto	4
2000 – 5000	Moderado	3
5000 – 10000	Baixo	2
> 10000	Muito baixo	1

3.3.4 Distância da rede viária

O sistema viário é composto por rodovias e estradas, possibilitando assim o tráfego de veículos entre as cidades e facilitando a conexão entre regiões. O arquivo vetorial correspondente a rede viária localizada na área de abrangência do município de Teófilo Otoni foi obtido na base de dados do IDE-SISEMA. Inicialmente, os dados vetoriais foram convertidos para o formato raster por meio do algoritmo v.to.raster, disponível no software QGIS 3.34.11, com suporte da biblioteca GRASS GIS para o processamento. Em seguida, aplicou-se o comando r.grow.distance para a geração da distância euclidiana. Por fim, a imagem resultante, contendo os valores de distância euclidiana em relação a rede viária, teve seus pixels agrupados e reclassificados por tabela de acordo com as classes apresentadas na Tabela (6).

Tabela 6 – Classes de riscos atribuídas às amplitudes de distância euclidiana da rede viária registradas para a área desse estudo.

Classes (m)	Risco	Peso
0 a 100	Muito alto	5
100 a 500	Alto	4
500 a 1000	Moderado	3
1000 a 5000	Baixo	2
> 5000	Muito baixo	1

No mapa de risco atribuído à proximidade das estradas, não foi feita distinção entre o risco em estradas asfaltadas e de terra.

3.3.5 Uso e ocupação do solo

O conhecimento sobre o uso e ocupação do solo constitui elemento essencial para a compreensão dos níveis de risco aos quais os ecossistemas estão expostos (Ribeiro et al., 2008). Essa variável é amplamente empregada nas análises de risco a incêndios florestais, uma vez que diferentes práticas de manejo conferem distintos graus de suscetibilidade. Assim, a classificação do risco de incêndio foi realizada por meio da atribuição de pesos às diferentes classes de uso do solo (Torres et al., 2017; Ribeiro et al., 2008), conforme apresentado na Tabela (7). Para este estudo, foram adotadas as classes de uso disponibilizadas na Coleção 10 do projeto MapBiomias, ano-base 2024, cuja base de dados abrangendo o município de Teófilo Otoni se encontra disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

Tabela 7 – Classes de risco atribuídas aos usos do solo para a área de estudo.

Classes	Risco	Peso
Agropecuária	Muito alto	5
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Alto	4
Silvicultura	Moderado	3
Floresta	Baixo	2
Área não vegetada	Muito baixo	1
Corpos de água	-	-

* Não foi atribuído peso aos corpos de água

Após definir os pesos para cada classe de uso do solo, a imagem teve seus pixels agrupados e reclassificados por tabela (Torres et al., 2017; Ribeiro et al., 2008). Como resultado foi obtido uma matriz de uso do solo com pesos de 1 a 5, perfazendo assim a quinta e última variável do zoneamento de risco de incêndios.

3.4 Elaboração e classificação do zoneamento de riscos de incêndios florestais

As variáveis distância dos agrupamentos urbanos, distância da rede viária e o uso e ocupação do solo foram os principais fatores analisados, pois explicam a presença humana na área, o que aumenta o risco de incêndios por causas acidentais ou intencionais. Nesse estudo não será considerado o risco de incêndios por causas naturais, uma vez que

são de difícil previsão. O maior risco de ocorrência de incêndios é na época seca, sendo que na maioria das ocorrências, as causas estão relacionadas a ações antrópicas.

De posse do cálculo dos pesos para cada uma das cinco variáveis, foi feita uma média ponderada e as variáveis preditoras mais importantes para explicar a ocorrência dos incêndios receberam maior peso. A Tabela (8) apresenta o peso atribuído a cada variável testada nesse estudo.

Tabela 8 – Pesos atribuídos a cada variável analisada.

Variáveis	Peso
Aspecto	0,10
Declividade	0,15
Distância dos agrupamentos urbanos	0,25
Distância da rede viária	0,25
Uso e ocupação do solo	0,25

O modelo de integração das variáveis é expresso pela Equação (1) adaptada de Murta Júnior e Oliveira (2024).

$$Risco = (As.0,1) + (De.0,15) + (DAU.0,25) + (DR.0,25) + (UO.0,25) \quad (1)$$

Em que:

As: aspecto, em graus;

De: declividade, em graus;

DAU: distância dos agrupamentos urbanos, em m;

DR: Distância da rede viária, em m;

UO: uso e ocupação do solo.

4. Resultados e Discussões

4.1 Variáveis preditoras utilizadas no zoneamento do risco de incêndios florestais

Na Figura (2) são apresentados os mapas gerados para as cinco variáveis utilizadas no zoneamento do risco de incêndios florestais do município de Teófilo Otoni. Esses mapas iniciais foram elaborados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Aspecto e Declividade), do banco de dados do IDE-SISEMA (Agrupamentos urbanos e rede viária) e da imagem classificada pelo projeto MapBiomias (Coleção 10, ano-base 2024), referente ao uso e ocupação do solo.

A análise das variáveis permitiu identificar padrões de maior suscetibilidade, especialmente relacionados ao relevo e à proximidade de áreas com forte influência antrópica. Estudos semelhantes reforçam que a escolha criteriosa das variáveis

preditoras é fundamental para o sucesso do zoneamento, como observado por Oliveira et al. (2021) em Juiz de Fora, MG e por Sancho-Pivoto et al. (2022) no Parque Estadual do Ibitipoca, também em Minas Gerais.

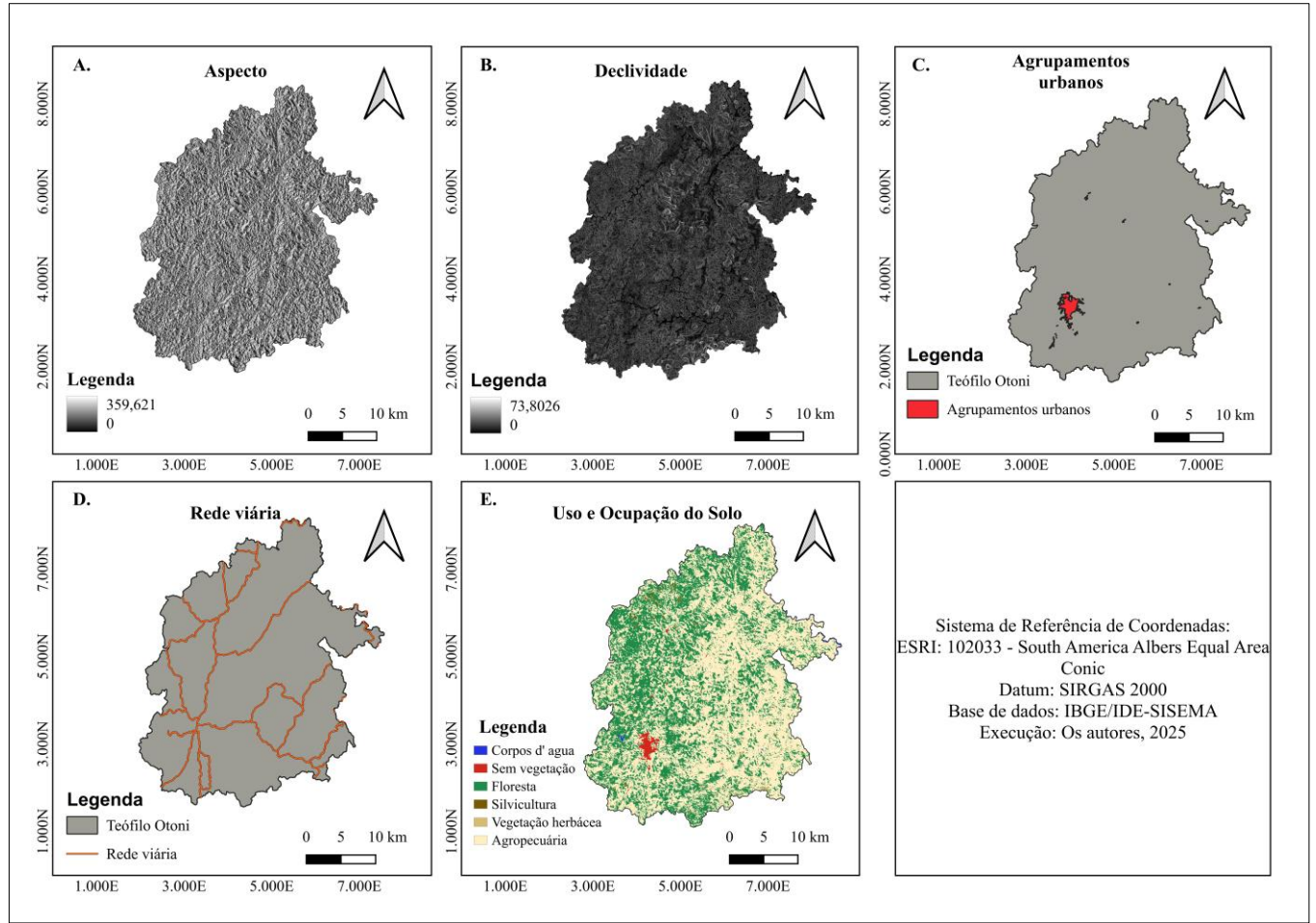


Figura 2 – Mapas gerados a partir dos dados brutos, construídos para aplicação dos pesos atribuídos às variáveis utilizadas para construção do risco de incêndios no município de Teófilo Otoni–MG.

4.1.1 Aspecto

Para a variável Aspecto (Tabela 9; Figura 2A), notou-se que a classe de risco Moderado (peso 3) foi a mais representativa, abrangendo 26,47% da área. Em seguida, a classe de risco Alto (peso 4) representou 26,13% e a classe Muito Alto (peso 5) 23,56%. Juntas, essas três classes somaram 76,16% da área total, evidenciando a relevância desta variável no zoneamento. Já as classes de risco Baixo (12,72%) e Muito Baixo (11,72%) tiveram menor representatividade.

A orientação das encostas afeta diretamente a umidade do material combustível, já que a radiação solar influencia a secagem da vegetação e do solo, alterando o comportamento do fogo (Leal et al., 2019; Murta Júnior e Oliveira, 2024). Esse padrão também foi observado em estudos realizados em áreas de Mata Atlântica nos estados de Santa

Catarina e Paraná, onde encostas voltadas para o norte apresentaram maior suscetibilidade aos incêndios (Bruno et al., 2025).

Tabela 9 – Área (em hectares e percentual) obtida para cada classe de escore de acordo à orientação da encosta.

Variável	Classe	Peso	Área (ha)	Área (%)
Aspecto	Muito Alto	5	76374,96	23,56
	Alto	4	84699,61	26,13
	Moderado	3	85780,59	26,47
	Baixo	2	39269,59	12,72
	Muito Baixo	1	37991,14	11,72

4.1.2 Declividade (graus)

De acordo com o mapa de risco para a variável Declividade (Tabela 10; Figura 2B), a classe Moderado (10 - 20°) representou 40,70% da área,

enquanto a classe Alto (20 - 30°) correspondeu a 27,78%. Assim, mais da metade do município (68,48%) apresenta moderada a alta suscetibilidade a incêndios. Em contrapartida, as classes Baixo e Muito Baixo totalizaram 25,77% da área.

A declividade influencia a propagação do fogo, pois encostas mais íngremes favorecem o deslocamento das chamas em direção ascendente (Murta Júnior e Oliveira, 2024). Estudos em Minas Gerais e no Paraná indicaram que áreas com maior inclinação apresentam maior frequência de focos de calor e maior vulnerabilidade ao fogo (Torres e Ribeiro, 2008). Esta variável mostrou-se, portanto, decisiva para a área de estudo.

4.1.3 Distância dos agrupamentos urbanos

A proximidade das áreas urbanas é fator relevante, já que a maioria dos incêndios florestais tem origem antrópica. Os resultados (Tabela 11; Figura 2C) revelam que apenas 8,6% do território está em classes de risco Alto e Muito Alto, concentradas no entorno dos agrupamentos urbanos. Contudo, 91,4% da área está a mais de 5 km de distância, reduzindo a influência direta dos agrupamentos urbanos.

Em área de Mata Atlântica no município de Juiz de Fora, Minas Gerais, Torres et al. (2008) verificaram padrão semelhante, em que a incidência de incêndios diminui à medida que se afasta dos núcleos urbanos. Entretanto, ressalta-se que comunidades rurais dispersas, práticas agrícolas e uso do fogo para limpeza do terreno, podem alterar essa dinâmica (Ribeiro et al., 2008).

4.1.4 Distância da rede viária (rodovias e estradas secundárias)

Para a variável distância da rede viária (Tabela 12; Figura 2D), 74,59% do território encontra-se em classes de risco Baixo e Muito Baixo, localizadas a mais de 1.000 m das rodovias. No entanto, 25,41% da área está classificada entre Moderado e Muito Alto, concentrando-se ao longo de rodovias e estradas secundárias.

A literatura indica que áreas adjacentes às estradas apresentam risco elevado devido à intensa atividade humana (Murta Júnior e Oliveira, 2024). Em estudo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Fiedler et al. (2006) observaram maior frequência de incêndios em áreas próximas a rodovias, corroborando com os resultados do presente estudo.

Tabela 10 – Área (em hectares e percentual) obtida para cada classe de risco de acordo com a declividade estimada para o município de Teófilo Otoni-MG.

Variável	Classe	Peso	Área (ha)	Área (%)
Declividade	Muito Alto	5	18656,82	5,75
	Alto	4	90064,14	27,78
	Moderado	3	131972,31	40,70
	Baixo	2	49880,64	15,38
	Muito Baixo	1	33673,60	10,39

Tabela 11 – Área (em hectares e percentual) calculada para cada classe de escore de acordo à proximidade dos agrupamentos urbanos para o município de Teófilo Otoni-MG.

Variável	Classe	Peso	Área (ha)	Área (%)
Distância dos agrupamentos urbanos	Muito Alto	5	13130,56	4,05
	Alto	4	14740,49	4,55
	Moderado	3	77093,09	23,77
	Baixo	2	162336,34	50,06
	Muito Baixo	1	56983,15	17,57

Tabela 12 – Área (em hectares e percentual) calculada para cada classe de risco de acordo com a proximidade da rede viária para o município de Teófilo Otoni-MG.

Variável	Classe	Peso	Área (ha)	Área (%)
Distância da rede viária	Muito Alto	5	12872,49	3,97
	Alto	4	32761,45	10,10
	Moderado	3	36765,99	11,34
	Baixo	2	189424,99	58,42
	Muito Baixo	1	52419,93	16,17

4.1.5 Uso e ocupação do solo

A Tabela (13) mostra que 60,11% do território de Teófilo Otoni é ocupado por áreas agrícolas, associadas ao maior peso de suscetibilidade. A cobertura florestal, por sua vez, representa 37,99% da área e apresenta risco baixo. Outras classes, como vegetação arbustiva e silvicultura, possuem participação menor, mas também indicam risco relevante.

Ribeiro et al. (2008) apontam os sistemas agrossilvipastoris como altamente suscetíveis a incêndios devido ao uso recorrente do fogo no manejo. Pesquisas recentes em regiões agrícolas do Mato Grosso e Santa Catarina, confirmam esse padrão, reforçando que áreas agrícolas representam fator de risco crítico (Ribeiro et al., 2012; Bruno et al., 2025).

Tabela 13 – Área (em hectares e percentual) ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo para o município de Teófilo Otoni–MG.

Variável: Uso e Ocupação do solo	Classe	Peso	Área (ha)	Área (%)
Agricultura	Muito Alto	5	194.882,60	60,11
Vegetação herbácea arbustiva	Alto	4	1.804,49	0,56
Silvicultura	Moderado	3	1.302,97	0,40
Floresta	Baixo	2	123.179,40	37,99
Área não vegetada	Muito Baixo	1	2.223,07	0,69
Corpos de água*	-	-	817,29	0,25

* Não foi atribuído peso aos corpos de água.

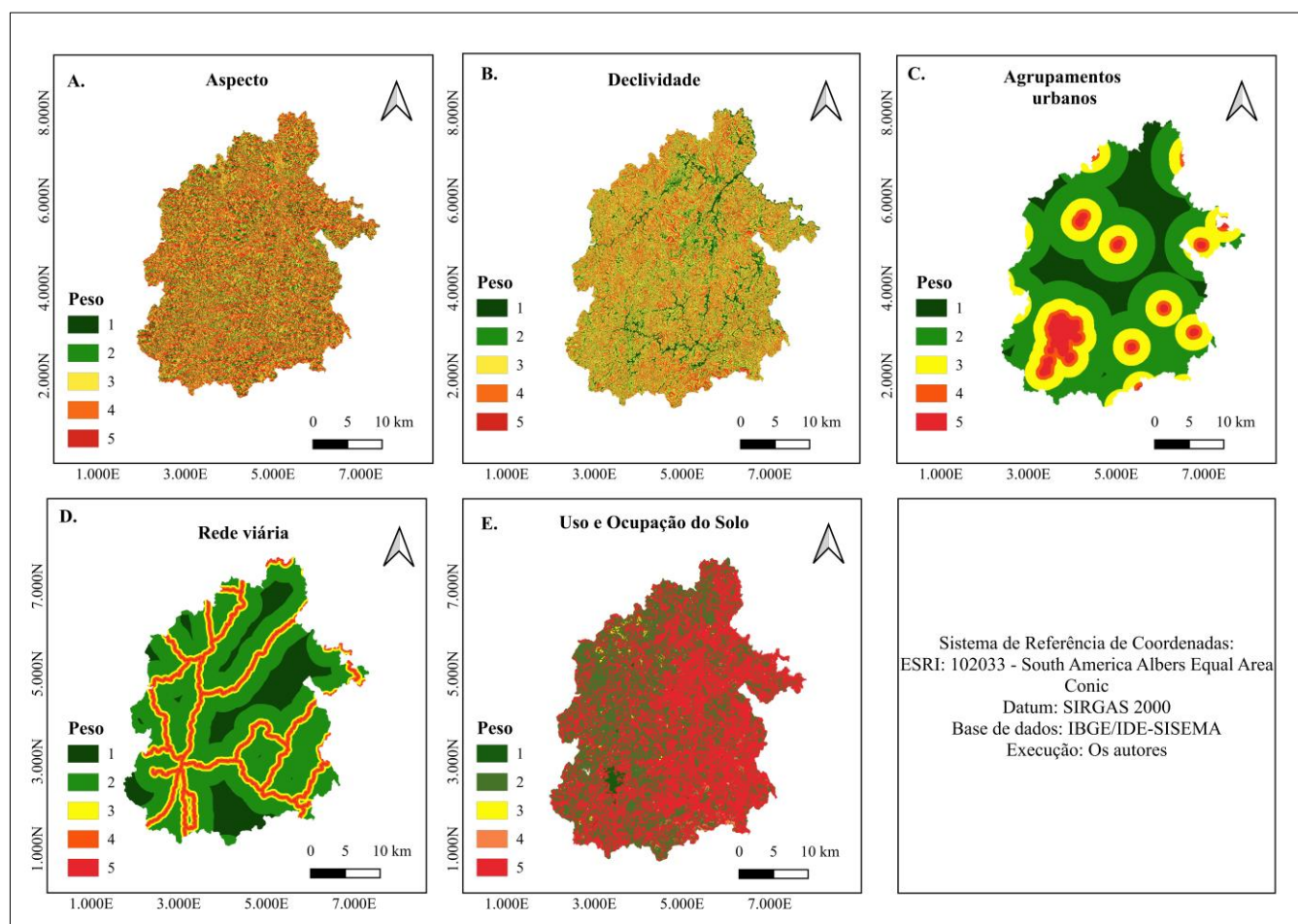


Figura 4 – Pesos atribuídos às variáveis predictoras no zoneamento do risco de incêndios florestais em Teófilo Otoni–MG.

4.6 Zoneamento e classificação do risco de incêndios

A Tabela (14) mostra que 65,6% da área de Teófilo Otoni apresenta risco Muito Alto a Moderado, enquanto 34,4% possui risco Baixo a Muito Baixo. A Figura (5) evidencia que as áreas de maior risco se concentram, em sua maioria, ao longo de faixas centrais e na porção leste do território municipal, frequentemente associadas à presença de rodovias, áreas agrícolas e ocupações humanas.

Tabela 14 – Área (em hectares e percentual) ocupada por cada classe de risco de incêndio do município de Teófilo Otoni–MG.

Risco de Incêndios	Peso	Área (ha)	Área (%)
Muito alto	5	3772,62	1,17
Alto	4	50154,87	15,52
Moderado	3	158018,79	48,91
Baixo	2	102397,51	31,69
Muito baixo	1	8741,10	2,71

Situação semelhante à observada nesse estudo, foi registrada por Torres et al. (2017) em Viçosa e por Murta Júnior e Oliveira (2024) no município de Itinga, Minas Gerais, reforçando que a influência antrópica, associada a condições ambientais, é determinante para a distribuição espacial do risco.

4.7. Comparação visual e espacial entre as classes de risco de incêndios do zoneamento e os focos de calor registrados na área desse estudo

A comparação espacial entre o zoneamento e os focos de calor registrados entre 2020 e 2025 (Figura 6) mostra forte sobreposição nas classes de risco Alto e Muito Alto. Esse resultado confirma a consistência do modelo aplicado, uma vez que os focos reais coincidiram em sua maioria com as áreas de maior vulnerabilidade.

Pesquisas semelhantes em Minas Gerais (Torres e Ribeiro, 2008; Murta Júnior e Oliveira, 2024) e na Amazônia (Santos et al., 2021) também verificaram essa correspondência, reforçando a aplicabilidade de variáveis preditoras no mapeamento de risco de incêndios.

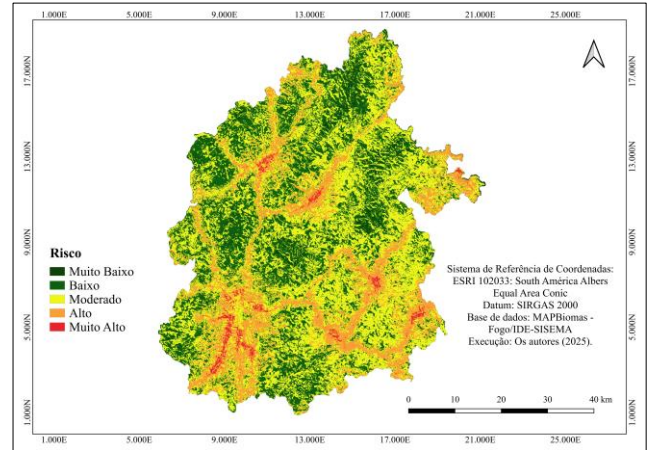


Figura 5 – Mapa do zoneamento dos riscos de incêndios florestais, para o município de Teófilo Otoni–MG, Brasil.

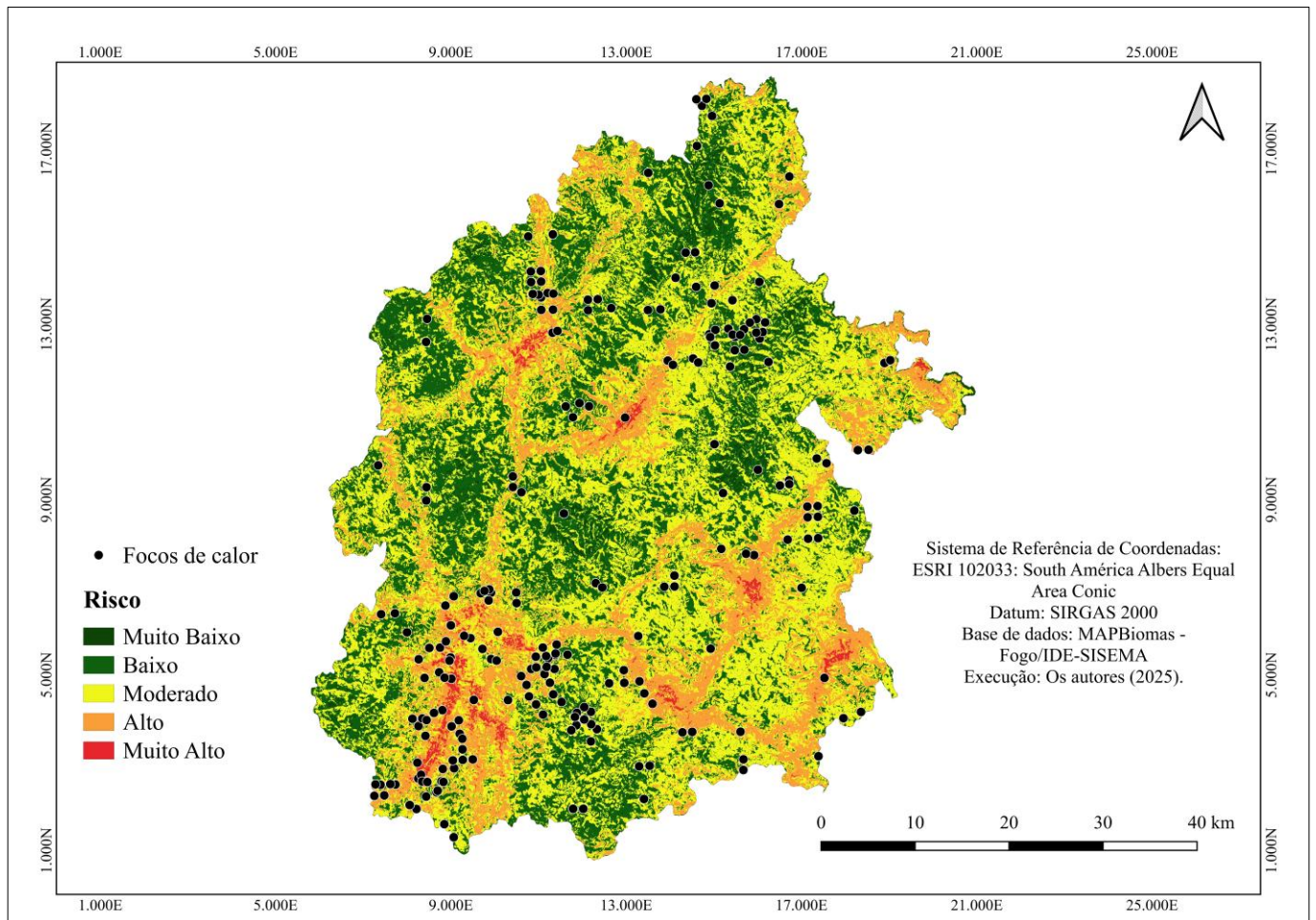


Figura 6 – Classes de risco de incêndios florestais em sobreposição com os 227 focos de calor registrados em Teófilo Otoni – MG entre 2020 e 2025.

5. Considerações Finais

O zoneamento do risco de incêndios florestais em Teófilo Otoni mostrou que as áreas mais vulneráveis estão próximas a rodovias, cidades e regiões agrícolas. O uso de informações sobre relevo, declividade, proximidade urbana, estradas e uso do solo permitiu identificar com clareza onde os incêndios podem acontecer com mais facilidade.

Esses dados podem ajudar a planejar ações de prevenção, como fiscalização, corredores de proteção, programas de conscientização e manejo seguro de áreas agrícolas. Também dão suporte para gestores municipais e órgãos ambientais priorizarem os locais de maior risco, evitando perdas econômicas, sociais e ambientais. A metodologia pode ser aplicada em outros municípios para melhorar o planejamento do território e reduzir os impactos dos incêndios.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M. and Sparovek, G., 2013. *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), pp. 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Barros, S.B.D. and Marques, P.A.S., 2024. *Introdução ao Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto: Parte I*. Belo Horizonte: EMATER-MG.
- Bruno, E.A., Deus, L.A.B. de and Fernandes, V. da F., 2025. *Mapeamento de suscetibilidade a incêndio em áreas verdes no município do Rio de Janeiro*. Revista Tocantinense de Geografia, 14(32), pp.90-113. <https://doi.org/10.70860/rtg.v14i32.19325>
- Costa, A. das G., Lima, G.S., Torres, F.T.P., Rodrigues, V.B., Silva Júnior, M.R. and Almeida, M.P. de, 2023. *Causas e período de ocorrência de incêndios florestais em unidades de conservação federais brasileiras de 2006 a 2012*. Ciência Florestal, 33(2), p.e69028. <https://doi.org/10.5902/1980509869028>
- ESRI, 2024. *ArcGIS Pro: software de GIS*. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/>> [Accessed 23 May 2025].
- Fiedler, N.C., Merlo, D.A. and Medeiros, M.B. de, 2006. *Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás*. Ciência Florestal, 16(2), pp. 153-161. <https://doi.org/10.5902/198050981896>
- Franco, M. A. de M., 2025. *Mudanças Climáticas e os Desafios Enfrentados pela Amazônia*. Cadernos de Astronomia, 6(11), pp. 11-22. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v6n1.47433>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. *Cidades e Estados: Teófilo Otoni*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> [Accessed 24 May 2025].
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. *Área territorial oficial: Teófilo Otoni*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> [Accessed 24 May 2025].
- IDE-SISEMA, 2025. *Atlas Digital de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>> [Accessed 24 May 2025].
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. *Programa Queimadas: monitoramento dos focos de incêndio*. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>> [Accessed 20 May 2025].
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024. *Monitoramento de incêndios florestais 2024*. São José dos Campos: INPE.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: IPCC.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2024. *Climate Change 2024: Mitigation of Climate Change*. Geneva: IPCC.

- Leal, F.A., Souza, F.F.B. de and Leal, G. da S.A., 2019. *Zoneamento de riscos de incêndios florestais em regiões hot spot de focos de calor no estado do Acre*. *Nativa*, 7(3), pp. 274-283.
<https://doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6768>
- MapBiomias Fogo, 2025. *Área queimada no Brasil*. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/fogo>> [Accessed 22 May 2025].
- Mazzurana, E. R., 2016. *Mata Atlântica: patrimônio natural, cultural e biológico do Brasil*. *Revista de Estudos Transdisciplinares*, 31(3).
<https://doi.org/10.46525/ret.v31i3.510>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2018. *Mata Atlântica: Biodiversidade e Mudanças Climáticas, Parte I: Experiências e Aprendizados*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria da Biodiversidade, pp.1-70.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2022. *Plano de Ação Nacional de Combate ao Desmatamento e Incêndios Florestais*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Murta Júnior, R. and Oliveira, E.K.B., 2024. *Zoneamento do risco de incêndios florestais no município de Itinga, Minas Gerais*. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 10(2), pp. 112-126.
<https://doi.org/10.29327/269504.6.1-3>
- Nagel, G.W., De Carvalho, L.A.S., Libonati, R., Nemirovsky, A.K. da S. and Bustamante, M.M. da C., 2023. *Fire Impacts on Water Resources: A Remote Sensing Methodological Proposal for the Brazilian Cerrado*. *Fire*, 6(5).
<https://doi.org/10.3390/fire6050214>
- Oliveira, V.F.R. de, Silva, E.R. dos S. da, Vick, E.P. and Silva, B.H.M. da, 2020. *Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios*. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(3), pp. 1194-1212.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1194-1212>
- Pereira, A.A., Barros, D.A. de, Pereira, J.A.A., Acerbi Júnior, F.W., Morelli, F. and Scolforo, J.R.S., 2014. *Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009*. *Cerne*, 20(3), pp.459-469.
<https://doi.org/10.1590/01047760201420031518>
- Ramalho, A.H.C., Fiedler, N.C., Dias, H.M., Peluzio, T.M. de O., Santos, A.R. and Lucas, F.M.F., 2024. *Compreendendo a ação do fogo nos ecossistemas brasileiros*. *Fluxo Contínuo*, 14(1), pp.8-25.
<https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i1.2180>
- Ribeiro, L., Koproski, L.P., Stolle, L., Lingnau, C., Soares, R.V. and Batista, A.C., 2008. *Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR)*. *Floresta*, 38(3), pp. 561–572.
<https://doi.org/10.5380/rf.v38i3.12430>
- Ribeiro, L., Viana, R.S. and Beppler, M., 2012. *Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil*. *Cerne*, 18(1), pp. 117–126.
<https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100014>
- Sancho-Pivoto, A., Rodrigues, C.G. de O., Botelho, E.S. and Fonseca, V.M., 2022. *O processo de concessão no Parque Estadual do Ibitipoca (MG): questões preliminares sobre controle social das parcerias para o turismo*. *Revista Brasileira de Ecoturismo*, 15(4), pp.730-748.
<https://doi.org/10.34024/rbecotur.2022.v15.13998>
- Santos, G.G. dos, Araújo, R.G. de, Neris, J.P.F., Sousa, J.S. de, Silva, B.K.S. da, Silva, V. de S. and Freitas, T.P.M., de 2021. *Análise espacial e temporal dos focos de calor no município de Anapu, Pará*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(2), pp. 1739–1758.
<https://doi.org/10.34188/bjaerv4n2-016>
- Silva, F.A.M. da., 2011. *Atlas climatológico de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).
- Silva, J.A., 2003. *Direito Ambiental Constitucional*. 4th ed. São Paulo: Malheiros Editores.

Sousa, K.H.S., Barbosa, S.C.C. and Pereira, M.A., 2021. *Zoneamento de riscos de incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça – MG*. Brazilian Journal of Development, 7(4), pp. 39536-39554. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-307>

Souza, M.P., 2009. As bases legais e os zoneamentos ambientais. In: *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 2. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.

Tetto, A.F., Batista, A.C. and Soares, R.V., 2012. *Zoneamento de risco de incêndios florestais para a Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná, Brasil*. Scientia Forestalis 40(94), pp. 259–265.

Tomas, W.M., Baggio, R., Berlinck, C.N., Camilo, A.R., Cunha, C.N. da, Damasceno-Junior, G., Durigan, G., Dutra-Silva, R., Fidelis, A., Garcia, L.C., Herrera, H.M., Libonati, R., Marengo, J.A., Oliveira, M. da R., Overbeck, G.E., Pereira, A. de M.M., Pillar, V.D.P., Pivello, V.R., Ribeiro, D.B., Ribeiro, J.F., Sampaio, A.B., Santos Junior, A. dos, Schmidt, I.B., Soriano, B.M.A., Tiepolo, L.M., Timo, T.P. de C., Urbanetz, C., Vieira, D.L.M. and Walter, B.M.T., 2024. *Challenges in the conservation and management of legal reserve areas in Brazilian grassland and savanna ecosystems in the face of global climate change*. Pesquisa Agropecuária Brasileira 59, p.e03491. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03491>

Torres, F.T.P. and Ribeiro, G.A., 2008. *Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG*. Floresta e Ambiente 15(2), pp. 24-34.

Torres, F.T.P., Roque, M.P.B., Lima, G.S., Martins, S.V. and Faria, A.L.L. de, 2017. *Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento*. Floresta e Ambiente 24, p.e00025615. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025615>